

## ANALIZA PRZESTRZENNA Z UŻYCIEM OBIEKTÓW CIĄGLYCH I JEJ ZASTOSOWANIE W LEŚNICTWIE

### SPATIAL ANALYSIS USING CONTINUOUS FIELDS FOR FORESTRY NEEDS

**Antoni Łabaj**

Zakład Ekologii Ekosystemów Instytutu Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński

**Słowa kluczowe:** pokrycie, numeryczny model terenu, leśna mapa numeryczna, geostatystyka, GIS

**Keywords:** coverage, digital terrain model, digital forest map, geostatistics, GIS

## Wstęp

W technologii GIS, oprócz wielu sposobów klasyfikacji danych, stosuje się podział obiektów przestrzennych na dwie funkcjonalne grupy w różny sposób obrazujące modelowaną przestrzeń. Dla bytów jasno zdefiniowanych, łatwych do wyodrębnienia i odróżnienia od innych stosuje się modelowanie dyskretne. Do tej grupy należy większość zagadnień związanych z leśną mapą numeryczną i SIP w Lasach Państwowych. Jest to zrozumiałe, gdyż modele danych dyskretnych świetnie pasują do zmienności środowiska powstałej w wyniku lub przy okazji działalności człowieka (gospodarka leśna, tworzona infrastruktura, podział administracyjny i stan prawny, itp.).

Druga grupa dotyczy obiektów przestrzennych ciągłych, dla których nie można w jednoznaczny sposób określić granic. W obiektach takich, zwanych pokryciami (*coverage*), każdemu punktowi przyporządkowuje się wartość określonego atrybutu.

Zmienność atrybutów jest modelowana przy użyciu sieci nieregularnych trójkątów (model wektorowy TIN), regularnej sieci wieloboków foremnych szczelnie wypełniających przestrzeń o z góry określonej wielkości (piksele rastra), węzłów siatki w modelu GRID.

Zmienność ciągła stwarza określone wymagania natury logicznej, które wywołują potrzebę stosowania klasyfikacji. Wyjątkowo tylko stosuje się reguły logiki rozmytej, pozwalające analizować zmienność, nie przyporządkowując jej wartości do danej kategorii (Magnuszewski 1999). Klasyfikacja pierwotnie dotyczy już samego faktu wyboru wielkości elementu podstawowego oraz dokładności oszacowania (pomiaru) zmienności oraz wtórnie, dla potrzeb naszej analizy – arbitralnie wyznaczanych przedziałów dla badanej zmienności lub przedziałów wynikających z kompresji informacji wielu kategorii. Tak, więc warstwie lub

poligony równej wysokości są efektem arbitralnie wyznaczonych przedziałów wysokości terenu nad poziom morza, uzyskanych w celu łatwiejszego przetwarzania informacji o płynnej zmianie poziomu gruntu. Natomiast typy siedliskowe lasu czy klasy gleb są skompresowaną informacją o wielu różnych czynnikach zmieniających się w sposób ciągły, warunkujących zdolności produkcyjne siedlisk leśnych lub morfologię i chemizm podłoża.

Dotychczas w leśnej mapie numerycznej przewidziano struktury danych przechowujące informację o niektórych elementach zmienności ciągłej, jednak informacja ta zapisana jest w sposób dyskretny w postaci klas wartości wyznaczonych trwale przez osobę dokonującą interpretacji. Informacja ta w zasadzie rzadko tylko może podlegać weryfikacji bądź wstecznej analizie pozwalającej wyodrębnić składowe poszczególnych klas. Trudno sobie wyobrazić, np. tworzenie wiarygodnej mapy kwasowości gleby czy frakcji glebowych na podstawie mapy glebowo-siedliskowej.

Technologia cyfrowa GIS stwarza doskonałą okazję lepszego wniknięcia w istotę zmienności ciągłej, wygodnego manipulowania nią oraz jej obrazowania na różnych poziomach rozdzielczości przestrzennej. Szereg dostępnych analiz znacznie wykracza poza to, co dotychczas można było osiągnąć w realnym czasie klasycznymi metodami przy domowym biurku. Biorąc pod uwagę szybki rozwój informatyki oraz obniżające się koszty stosowania technologii cyfrowej, analiza zmienności ciągłej jest z łatwością dostępna dla nadleśnictw. Barierą z pewnością jest doświadczenie w zakresie analiz zmienności ciągłej oraz dostępność dobrej jakości danych.

Niewiele prac dotyczących leśnej geomatyki zostało poświęcone modelom zmienności ciągłej. Najczęściej zagadnienie to poruszane jest w związku z numerycznym modelem terenu. Nie oznacza to, że dla tego typu analiz nie ma miejsca we współczesnym leśnictwie. Przeciwnie, płynna zmienność naturalnych cech przestrzenni warunkuje procesy produkcyjne i gospodarcze w lasach, a wachlarz możliwości analitycznych jakie daje modelowanie ciągłej zmienności jest znacznie szerszy niż dla obiektów dyskretnych. Zasadniczo dla modelu ciągłego właściwe są wszystkie metody analityczne dostępne w modelu dyskretnym plus metody analizy właściwe dla powierzchni ciągłych, np. obliczanie pochodnych powierzchni (wystawa, spadek, sieć drenażu) itd. Niewielkie wykorzystanie modeli zmienności ciągłej ma związek z faktem, że część rzeczywistości obrazowana nimi nie dotyczy zmieniającej się często sytuacji gospodarczej lub prawnej (wykonane zabiegi gospodarcze, zmiany w stanie posiadania) a raczej przyrodniczych uwarunkowań procesów gospodarczych i warunków produkcji, które to ulegają bardzo powolnym zmianom. Warunki te zostały zwykle określone w przeszłości klasycznymi metodami i nie podlegają w praktyce weryfikacji. Zatem techniki analizy zmienności ciągłej powinny mieć największe znaczenie w planowaniu z uwzględnieniem w szerokim zakresie informacji o środowisku oraz w zarządzaniu kryzysowym, kiedy konieczne jest szybkie uzyskanie nieznannej wcześniej informacji metodami geostatystycznymi lub statystycznymi. Zasadniczo modelowanie zmienności ciągłej i wyciąganie właściwych wniosków powinno budzić zainteresowanie ludzi pracujących naukowo i koncepcyjnie na rzecz gospodarki leśnej. Dla samych gospodarstw leśnych ten typ modelowania ma służyć przede wszystkim do przechowywania i prezentacji graficznej łatwodostępnych informacji o wysokiej jakości precyzyjnej informacji, łatwego korzystania z niej i doskonałej prezentacji graficznej.



## Zastosowania w leśnictwie

Potencjalne wykorzystanie modeli zmienności ciągłej zaprezentowane zostały na dwóch typach danych. Obrazują one inne jakościowo zjawiska i powstają zwykle w nieco odmienny sposób.

**Numeryczny model terenu (NMT)** powstaje poprzez określenie wysokości powierzchni gruntu nad poziom morza dla każdego położenia  $x,y$  przestrzeni mapy. Dla stworzenia takiego modelu niezbędny jest pomiar wysokości terenu w wielu punktach obrazowanego obszaru. W praktyce, dla leśnej mapy numerycznej źródłem informacji o wysokości są najczęściej mapy topograficzne, a pomiar punktów wysokościowych następuje poprzez wektoryzację izolinii wysokościowych (opcjonalnie punkty wysokościowe i linie szkieletowe jak ciek i grzbiety, linie nieciągłości jak uskoki terenu, skarpy) oraz przypisanie im atrybutu wysokości. Kolejnym krokiem jest wykonanie interpolacji w celu określenia wartości  $Z$  (wysokości) w każdym punkcie mapy. Ponieważ punkty pomiarowe są rozmieszczone gęsto w stosunku do obserwowanej zmienności, wykorzystuje się deterministyczne metody interpolacji – triangulację (model TIN), lub metodę odwróconego dystansu (modele rastrowe). Metody te zachowują niezmienną wartość punktów wysokościowych w modelu, a wartości nieznane wyliczane są na podstawie najbliższych położonych pomiarów.

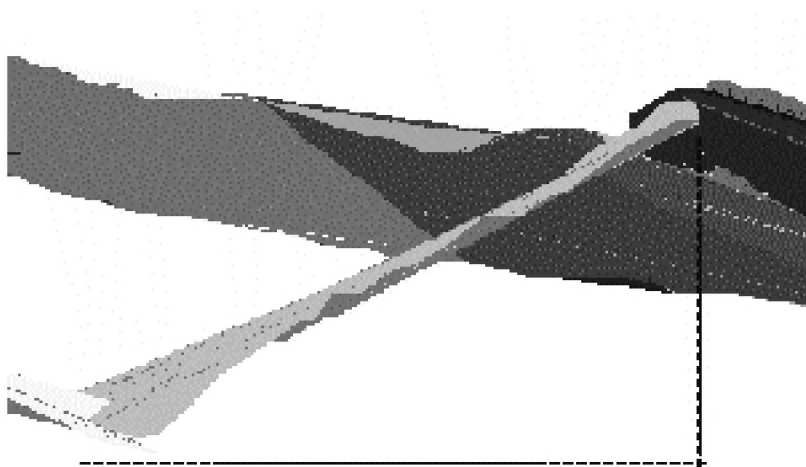
W obecnie stosowanej technologii NMT budowane są w większości z danych teledetekcyjnych, poprzez interpolację punktów wysokościowych zebranych w regularnej siatce modelu stereoskopowego lub obróbkę (oczyszczenie z zakłóceń) skanów powierzchni Ziemi wykonanych przy użyciu lotniczych skanerów laserowych.

O potencjalnych polach wykorzystania NMT w leśnictwie pisano już w rozdz. XII.2 w podręczniku użytkownika (Zajaczkowski, 2000). Wydaje się, że ilość zastosowań NMT zależy przede wszystkim od jego dokładności. Zwykle dla potrzeb leśnych modele terenu tworzone są mało precyzyjnie (ze względu na ograniczenie kosztów), co wyklucza stosowanie ich w pracach inżynierskich. Nie ulega jednak wątpliwości, że NMT daje lepszą informację o wysokości i parametrach pochodnych (wystawie, nachyleniu) obiektów LMN niż stosowany dotychczas leśnej mapy numerycznej w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych, wykonany przez taksatora w trakcie prac urzędniowych, na zasadzie oszacowania „na oko”. Dodatkowo LMN zgodnie ze standardem LMN posiada informację o wysokości dla pełnego zasięgu terytorialnego działania nadleśnictwa.

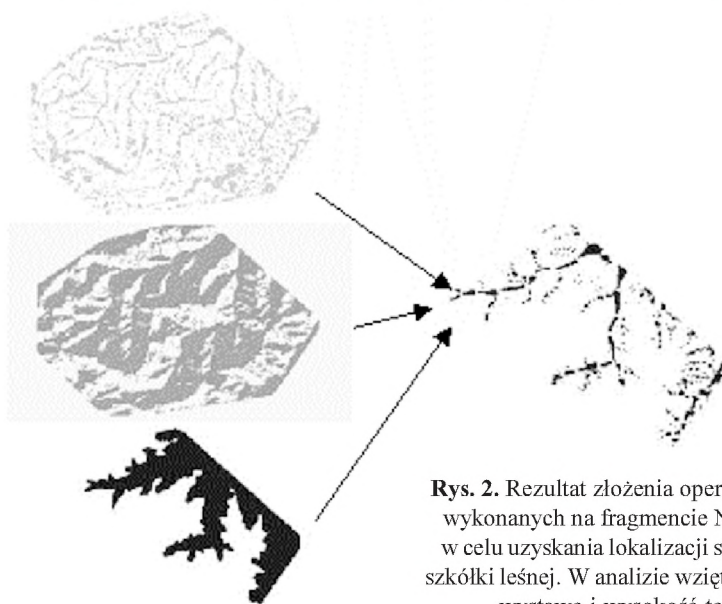
W praktyce leśnej NMT o stosunkowo niewielkiej dokładności może świetnie posłużyć organizacji pracy i określeniu stopnia trudności gospodarczej danego terenu. Mając na uwadze ukształtowanie terenu i sieć komunikacyjną można zaplanować w odpowiedni sposób podział na jednostki administracyjne czy spływy drewna, aby minimalizować dojazdy oraz pokonywanie wzniesień.

Na poziomie leśnictwa organizując pracę bądź wykonując pomiary terenowe i przenosząc je na mapę trzeba mieć na uwadze, że ukształtowanie terenu znacząco wpływa na relacje pomiarów rzeczywistych odległości w stosunku do odległości uzyskiwanych z mapy. Mapa jest rzutem terenu na płaszczyznę poziomą, zatem wszystkie odległości na mapie są skrócone w stosunku do rzeczywistości (rys. 1).

Ukształtowanie terenu uzyskiwane z NMT nadleśnictw może z pewnością służyć wstępnemu projektowaniu prac, obliczaniu ich stopnia trudności, dostępności terenu dla różnej kategorii sprzętu mechanicznego, modelowaniu parametrów przyrodniczych, np. stopnia



**Rys. 1.** Perspektywa 3D wybranego oddziału leśnego nr 191 w kompleksie leśnym Rozтока Wielka w Nadleśnictwie Piwniczna. Długość rzeczywista stoku przekracza ok. 9% odległość wyliczoną z mapy



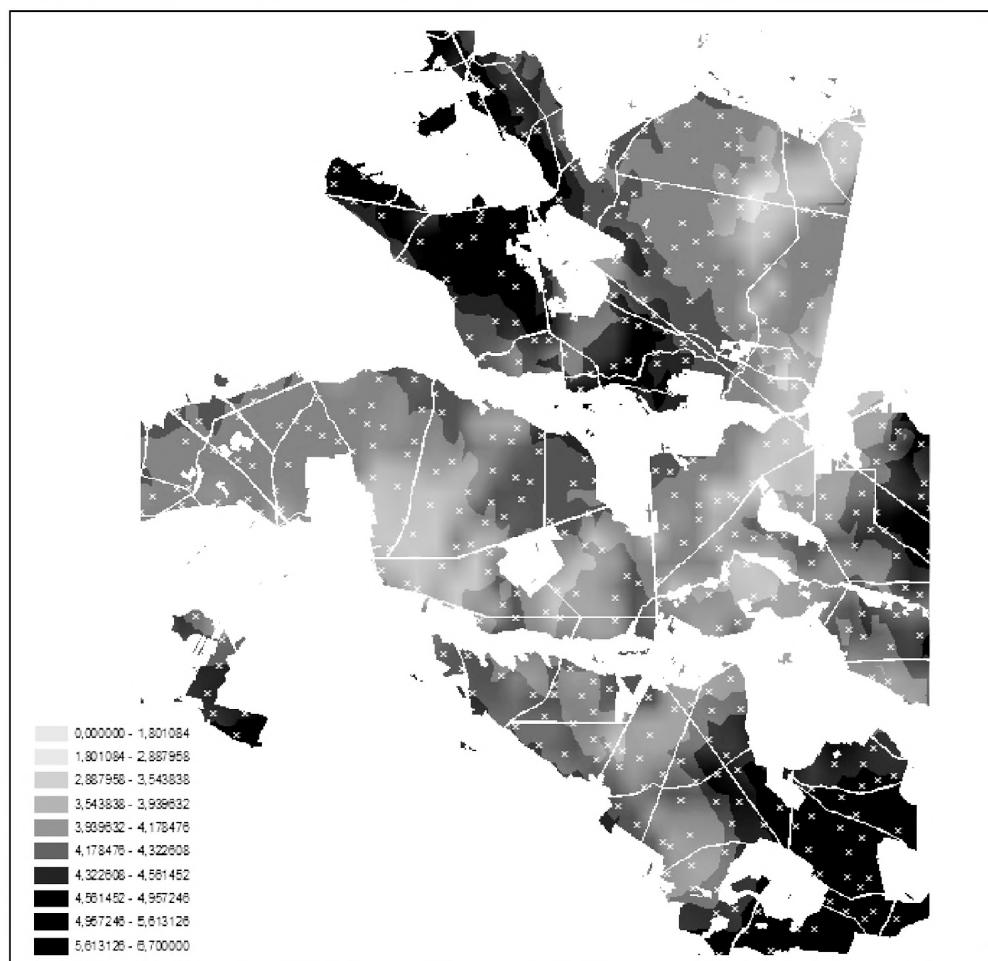
**Rys. 2.** Rezultat złożenia operacji logicznych i arytmetycznej wykonanych na fragmencie NMT Nadleśnictwa Piwniczna w celu uzyskania lokalizacji spełniającej kryteria zakładania szkółki leśnej. W analizie wzięto pod uwagę nachylenie terenu, wystawę i wysokość terenu nad poziom morza

ekspozycji słonecznej terenu i związanego z tym zalegania pokrywy śnieżnej, sieci erozyjnej stoków, wyboru optymalnej lokalizacji infrastruktury, np. szkółki leśnej (rys. 2).

**Mapy zasobności gleb.** Mimo, że parametry fizyczne i chemiczne gleb determinują potencjał produkcyjny siedlisk oraz wytyczają kierunki hodowli lasu, do analizy i klasyfikacji gleb nie stosuje się modelowania komputerowego i technologii GIS. Wprawdzie od kilku lat mapy glebowo-siedliskowe tworzone są cyfrowo w formacie zgodnym z GIS, ale technika ich sporządzenia nie ma najmniejszego związku z analizami dostępnymi w GIS. Technologia

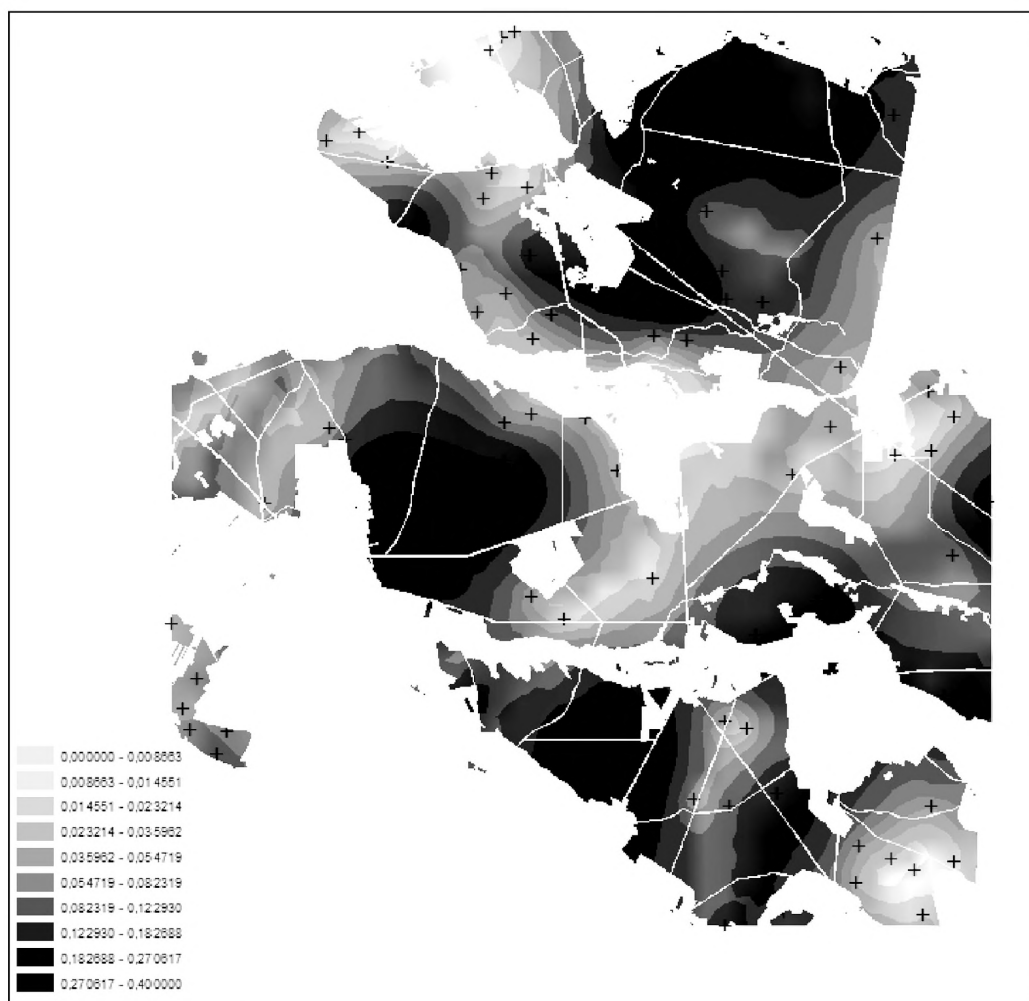


GIS wykorzystywana jest tu wyłącznie w celu reprodukcji map wykonanych na bazie interpolacji wzrokowej i arbitralnego ustalania granic typów siedliskowych lasu, klas gleb, uwilgotnienia itd. Zestaw bogatych analiz fizykochemicznych gleby wykonanych na powierzchniach typologicznych wykorzystywany jest ciągle w tradycyjny sposób. Nie jest to oczywiście błędem jednak podwyższona predykcyjność metod interpolacji przestrzennej i geostatystyki w stosunku do oszacowania „na zdrowy rozum” wydaje się być faktem (Dubois 2003). Zatem pojawia się niesamowicie wygodne narzędzie wspomagające proces tworzenia map glebowo-siedliskowych, które dodatkowo zmniejszy subiektywizm powstających opracowań i ich niepewność oraz dostarczy szeregu cennych informacji cząstkowych uzupełniających dotychczasowy zestaw informacji. Idea zastosowania analiz zmienności ciągłej dla potrzeb mapowania zasobności gleb, a i w związku z tym określeniu potencjału produkcyjnego siedlisk, polega na interpolacji metodami geostatystycznymi wyników pomiarów fizykochemicznych gleb wykonanych na powierzchniach typologicznych.



Rys. 3. Przykład interpolacji wartości pH pomierzonych na 384 punktach w trakcie wykonywania prac glebowo-siedliskowych w Nadleśnictwie Kup

Ponieważ większość parametrów gleb charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną, a niemożliwe jest założenie wystarczająco gęstej sieci punktów pomiarowych (koszty analiz) należy zastosować wnioskowanie geostatystyczne poprzedzone wstępnym modelowaniem parametrów interpolacji. Przykładowe wyniki zastosowania metod interpolacji w celu określenia zmienności przestrzennej parametrów gleby przedstawiono na rysunkach: 3 – kwasowość gleb (pH  $H_2O$ ), 4 – stężenie potasu (K). Wyniki interpolacji wielu parametrów gleb mogą zostać następnie modelowane narzędziami analizy zmienności ciągłej w celu uzyskania obiektywnej klasyfikacji potencjału produkcyjnego siedlisk, bądź mogą być używane niezależnie. Przykładowo, już na pierwszy rzut oka widać korelację pomiędzy mapami na rysunkach 3 i 4. Wysokie pH warunkuje niskie stężenia K i odwrotnie.



**Rys. 4.** Przykład interpolacji wartości stężeń potasu pomierzonych na 78 punktach w trakcie wykonywania prac glebowo-siedliskowych w Nadleśnictwie Kup

## Modelowanie ciągle w technologii GIS

Z wielu zagadnień dotyczących tworzenia i analizy modeli zmienności ciągłej w GIS nie sposób wybrać nawet tych, które mają największe znaczenie dla Administracji Lasów Państwowych. Kierunki rozwoju i wykorzystania możliwości technicznych GIS zależą przede wszystkim od przyjętej technologii wykonywania prac planistycznych na rzecz ALP, potrzeb w zakresie budowania i utrzymania specyficznych baz danych oraz wielkości środków przeznaczanych na ten cel.

W wielu działach gospodarki numeryczny model terenu uzyskał pozycję autonomiczną i jest podstawą funkcjonowania SIP. Wykorzystuje się go zarówno do stymulacji zjawisk zachodzących na powierzchni terenu (w szczególności kataklizmów, np. zagrożenie falą powodziową, rozkład przestrzenny zagrożeń ekologicznych itp.), jak i do planowania przestrzennego i projektowania inżynierskiego. Możliwości jego w zaspokajaniu wielorakich potrzeb są nieporównywalnie większe niż klasycznych map. Stąd ciągle poszerzający się krąg użytkowników i ciągle uświadamianie przez nich swych potrzeb i nowych zakresów zastosowań. Zakres opracowań numerycznych modeli terenu może być bardzo szeroki, chociaż rzeźba terenu jest opracowywana niewątpliwie najczęściej. Przedmiotem modelu może być dno morskie oraz np. powierzchnie badane w geologii i gleboznawstwie, takie jak: poziom wód gruntowych lub położenie skał macierzystych. Oprócz wymienionych powierzchni, które istnieją w sensie fizycznym konstruuje się modele powierzchni abstrakcyjnych, opisujących różne zjawiska przyrodnicze, a także społeczne i gospodarcze (Oleś-Polkowska, Polkowski, 2004).

Śród metod analitycznych stosowanych na numerycznym modelu terenu wymienić należy (Burrough 1998):

- interpolację przestrzenną,
- algebrę map,
- filtrowanie,
- uzyskiwanie topologii powierzchniowej i sieci drenażu,
- obliczanie pochodnych powierzchni ciągłych (pierwszego i drugiego stopnia),
- cieniowanie rzeźby, analizy widoczności,
- inne, jak np. modelowanie z użyciem logiki rozmytej i sieci neuronowych.

Każda z wymienionych analiz posiada sporą liczbę wariantów i opcji, wymaga więc od operatora sporego doświadczenia i wiedzy. Oprócz tych zaawansowanych analiz oczywiście można, bez jakiegokolwiek przygotowania merytorycznego korzystać z doskonałych efektów wizualizacji danych w przestrzeni trójwymiarowej, jaką zapewniają pakiety GIS lub CAD dedykowane obsłudze NMT.

## Perspektywy rozwoju NMT jako części SIP

W Polsce dostępne są numeryczne modele terenu o różnym stopniu szczegółowości.

Kilka lat temu, na potrzeby operatorów telefonii komórkowej, został opracowany na podstawie obrazów satelitarnych pierwszy NMT dla obszaru całej Polski. Następnie, na potrzeby tych operatorów opracowano ortofotomapy i NMT o wyższym stopniu szczegółowości ze zdjęć lotniczych dla bardzo wielu wybranych obszarów Polski.



Dostępna jest ortofotomapa w skali 1 : 10 000 oraz NMT dla całego województwa śląskiego opracowane na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego na podstawie kolorowych zdjęć lotniczych w skali 1 : 26 000 wykonanych w ramach programu Phare w 1997 roku. Dostępne są również ortofotomapy i NMT wykonane z ww. zdjęć dla wybranych terenów miast oraz terenów o charakterze wiejskim w całej Polsce.

Na zlecenie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii opracowano w 2003 r. standard techniczny do tworzenia Bazy Danych Topograficznych o szczegółowości mapy topograficznej w skali 1 : 10 000 i podjęto prace nad tworzeniem tej bazy. Do roku 2005 zostanie założona dla powierzchni całego kraju, wykonywana wspólnie przez geodezyjne służby cywilną i wojskową, baza danych topograficznych o poziomie szczegółowości 1 : 50 000 w standardzie NATO (Vmap Level 2). Do tworzenia i aktualizacji tych baz danych będą stosowane przede wszystkim metody fotogrametryczne i teledetekcyjne. Podstawowymi produktami będą: 1) wektorowa mapa numeryczna, 2) numeryczny model wysokościowy terenu oraz 3) cyfrowa ortofotomapa.

Jest mało prawdopodobne, aby nadleśnictwa uzyskały NMT wysokiej dokładności w sposób samodzielny. Najprawdopodobniej będą musiały korzystać ze źródeł topograficznych dostępnych komercyjnie. Większe pole zastosowań będą miały analizy geostatystyczne i związane z tym modelowanie powierzchniowe. Nie istnieją żadne bariery, oprócz tych związanych z czynnikiem ludzkim, mogące ograniczać wykorzystanie tej części technologii GIS.

### Literatura

- Burrough P. A., McDonnell R. A., 1998: Principles of Geographical Information Systems, Oxford.  
Dubois G., Malczewski J., DeCort M., 2003: Spatial Interpolation Comparison 97, European Communities.  
Magnuszewski A., 1999: GIS w geografii fizycznej, PWN.  
Zajączkowski G., 2000: rozdział. XII.2 Wykorzystanie numerycznego modelu terenu w leśnictwie, Systemy Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych, Bogunki Wydawnictwo Naukowe S.C.

### Summary

*Analysis of continuous fields (coverages), widely known in GIS technology, has not yet been used to significant degree in the Spatial Information System created for the needs of the State Forests. Also, there are not many scientific and conceptual works in the area of continuous fields modeling for the needs of forestry.*

*In the paper, the following subjects are presented: 1) two potential areas for application of continuous models in forest districts, i.e. digital terrain model (DTM) and soil maps when discussing the method of their creation and use, 2) growing possibilities of using continuous fields models, particularly DTM, in GIS technology to make multi-variant analyses for the needs of the State Forests Administration, 3) prospects for development of large scale DTM in Poland, including for the needs of forestry.*

*Conditions necessary for successful application of continuous fields models in forest districts were defined as follows: 1) accumulation of precise source data, 2) providing applications for appropriate analyses and 3D visualisation, 3) staff training.*

Mgr Antoni Łabaj

tel. +48 (012) 664 51 84

Student studiów doktoranckich w Zakładzie Ekologii  
Ekosystemów INoŚ UJ, mgr biologii, technik leśnik  
właściciel firmy SmallGIS